

Рекомендації щодо підвищення рівня безпеки під час аварійно-рятувальних робіт з ліквідації надзвичайних ситуацій з викидом небезпечних хімічних речовин

Шифр: *Індивідуальний захист*

ПЛАН

Вступ	3
1. Визначення граничних норм небезпечних хімічних речовин.	4
2. Аналіз останніх досягнень та публікацій.	6
3. Дослідження герметичності комплексу засобів індивідуального захисту	10
3.1. Аналіз засобів індивідуального захисту шкіри, можливостей їх застосування під час ліквідації надзвичайних ситуацій	10
3.2. Тактико-технічні характеристики лицевих частин, їх недоліки та переваги, можливості застосування під час ліквідації надзвичайних ситуацій	12
3.3. Оцінка герметичності комплексу засобів індивідуального захисту, призначеного для роботи в осередку надзвичайної ситуації з викидом небезпечних хімічних речовин	15
4. Визначення вимог до параметрів, що необхідно контролювати під час перевірки герметичності апарату на стиснутому повітрі.	19
Висновки	22
Література	25

ВСТУП

Постановка проблеми. З реалізацією положень Кодексу цивільного захисту України перед державними пожежно-рятувальними підрозділами постали нові завдання. Одним з таких завдань, що стоять перед особовим складом- є ліквідація надзвичайних ситуацій в умовах, які суттєво відрізняються від найгірших умов пожежі. В першу чергу були сформульовані [1] тактико-технічні вимоги до засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), головним критерієм яких є загальний коефіцієнт захисту, що в нормі повинен бути більше 5000. Отже, точно не відомо, чи є робота в таких апаратах, навіть при дотриманні нормативних вимог, безпечною для рятувальників.

У випадку надзвичайної ситуації, наприклад пожежі, особовий склад, який буде залучатись до її ліквідації, знаходитиметься під впливом не тільки звичайних продуктів горіння, але й компонентів ракетного палива (КРП), а також продуктів, які створюються під час горіння парів та розчинів КРП. Ситуація, яка описана вище, ускладнюється тим, що в умовах пожежі продукти горіння та термічного розпаду, котрі входять до складу диму, навіть при малих концентраціях, впливають на організм людини комплексно і через це уявляють небезпеку для життя.

Таким чином, можна зробити висновок, що в нашій країні можуть виникнути надзвичайні ситуації, в результаті яких рятувальникам доведеться проводити роботи, з використанням засобів індивідуального захисту, які повинні мати загальний коефіцієнт захисту у два - три рази більше норми, для цього потрібно визначити основні параметри, які необхідно контролювати під час перевірки герметичності апарату на стисненому повітрі.

1. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ НОРМ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

Основа КРП та речовин, які утворюються в результаті їх розпаду, є різноманітні окиси азоту [2]. Гранично допустима концентрація окисів азоту (в перерахунку на NO_2) дорівнює 5 мг/м^3 і складає $0,26 \cdot 10^{-3}\%$ за об'ємом [3]. В умовах звичайної пожежі концентрація окисів азоту не перебільшує 1% за об'ємом і дорівнює $1,92 \cdot 10^4 \text{ мг/м}^3$ [4], але всередині складу, у якому знаходиться арсенал, при аварії може бути і ситуація, коли концентрація окисів азоту $C_{(100\% \text{NO}_2)}$ буде наближатись до $1,92 \cdot 10^6 \text{ мг/м}^3$ (100%), що відповідає коефіцієнту токсичної небезпеки

$$K_{\text{ТН}}(100\% \text{NO}_2) = \frac{C_{(100\% \text{NO}_2)}}{C_{\text{ГДК NO}_2}} = 3.85 \cdot 10^5, \quad (1)$$

де $C_{\text{ГДК NO}_2} = 5 \text{ мг/м}^3$ – гранично допустима концентрація окисів азоту (в перерахунку на NO_2) [4].

При цьому коефіцієнт можливого інгаляційного отруєння, який визначає шкідливий вплив на людину, враховуючи те, що середньосмертельна концентрація окисів азоту дорівнює 500 мг/м^3 [4], буде

$$K_{\text{МО}} = \frac{1,92 \cdot 10^6}{500} \approx 3,85 \cdot 10^3. \quad (2)$$

Так як цей коефіцієнт значно більше 300, така ситуація вважається [5] надзвичайно небезпечною і вимагає додаткових заходів щодо зменшення шкідливого впливу на людину. Треба також враховувати, що біля осередку пожежі знижується відсотковий вміст кисню у повітрі, що також небезпечно для життя людини. Проте, основним засобом захисту органів дихання рятувальників, що в складі аварійно-рятувальних команд, є фільтруючі протигази типу ПРВ(ЄО-20, ПРВ-У, ПРВ-М). Обставини перераховані вище свідчать про те, що використання цього типу протигазів не забезпечує захист органів дихання при гасінні пожеж або аварій з викидами КРП, а також під час ліквідації їх наслідків.

На озброєнні аварійно-рятувальних команд досі стоять шлангові протигази. Даний тип протигазів в силу своїх конструктивних можливостей призначений для захисту органів дихання, очей та обличчя під час робіт в емностях та колодязях, які не пов'язані з рухом на відстань більше 10÷20 м [3]. Аналогічна ситуація і під час ліквідації осередків НС з викидами хлору (є основним компонентом для очищення міської водо мережі), оскільки його максимальна концентрація може бути [6] до 3608 мг/л, тоді як гранично допустима концентрація хлору в робочій зоні [3] дорівнює $C_{ГДК}(Cl_2) = 1 \text{ мг/м}^3$. Тобто

$$K_{ТН}(100\% Cl_2) = \frac{C_{\max Cl_2}}{C_{ГДК}(Cl_2)} \approx 3.6 \cdot 10^7 \gg 5000. \quad (3)$$

Або аміаку (більшість запасів знаходяться на виробництвах, які використовують НХР[6])

$$K_{ТН}(100\% NH_3) = \frac{C_{\max NH_3}}{C_{ГДК}(NH_3)} \approx 4.306 \cdot 10^4 \gg 5000, \quad (4)$$

де $C_{\max NH_3} \approx 863 \text{ мг/л}$ - максимальна концентрація аміаку [6];

$C_{ГДК}(NH_3) \approx 20 \text{ мг/м}^3$ - гранично допустима концентрація аміаку в робочій зоні [3].

2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЯГНЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

При аналізі останніх досягнень та публікацій було з'ясовано, що питання забезпечення безпеки рятувальників в таких умовах в Україні розглядались, в основному, стосовно до засобів індивідуального захисту органів дихання. Так, в [1] відмічено, що газоповітряна суміш з навколишнього середовища може потрапити всередину системи «ізолюючий апарат – органи дихання людини» як в результаті негерметичності самого апарату, так і нещільності прилягання лицевої частини, тобто підсоси в результаті цих причин можуть складуватись. В [7] показано, що тактико-технічні характеристики ізолюючих апаратів суттєво впливають на герметичність системи, і відмічена висока ефективність апаратів на стисненому повітрі (АСП), якщо ті обладнані масками з підпором повітря в підмасочний простір, у порівнянні їх з регенеративними дихальними апаратами (РДА). Проте, питання роботи газодимозахисників при цьому в ізолюючих костюмах (ІК) не розглядались.

Не наведені кількісні показники про те, коли та в якому костюмі працювати і в наказі МНС № 733 від 13.10.2008 [8], який регламентує порядок вибору захисного одягу для проведення аварійно-рятувальних робіт під час ліквідації надзвичайних ситуацій з викидами небезпечних хімічних речовин (НХР). Аналіз показав, що розробники, вказавши зону, всередині якої потрібно працювати в ІК (для аміаку вона, наприклад, складає 800 м), передбачають роботу в костюмах (на вибір рятувальників) різних модифікацій, які суттєво відрізняються навіть зовнішньо (в першу чергу тим, де повинен знаходитись ІА – всередині або ззовні костюму).

За кордоном результати досліджень роботи в ІК узагальнені в стандартах. Так, в США є прийнятим стандарт NFPA 1991 [9], в якому захисний одяг поділяється на чотири рівні. При цьому ІК рівня А забезпечує захист від прямого впливу небезпечної речовини. Характерною особливістю костюмів такого типу є те, що ІА знаходиться в під костюмному просторі, де створюється збитковий тиск. Для костюмів рівня В останній ефект місця не

має, навіть якщо ІА і знаходиться всередині костюму. Аналогічна ситуація має місце і в Європі, де захисний одяг поділяється на шість типів. Аналіз стандартів PrEN 943[10] та PrEN1511 [11] показує, що вони достатньо сильно корелюють з рівнями, які використовуються в США. Тим не менш, конкретних кількісних показників в них також не наведено.

В Російській Федерації питання захисту особового складу, який приймає участь в ліквідації наслідків аварій, розглянуті в [12,13,14], де відмічено, що вибір КЗІЗ і визначення порядку його використання відбувається в залежності від характеру та масштабів аварії. За відсутності інформації про аварійно хімічно небезпечних речовинах та ступінь забруднення зовнішнього середовища використовується комплекс засобів індивідуального захисту, який дозволяє працювати в умовах максимально можливих концентрацій небезпечних хімічних речовин, а також контакту з рідкою фазою речовини (так званий КЗІЗ першого типу). При цьому конструктивні особливості стосовно до умов роботи не деталізуються, хоча у відповідності до [9,10,11] саме місце знаходження ІА є зовнішньою відзнакою, за якою можна віднести костюм до такого, який дозволяє працювати всередині найбільш небезпечної зони.

Особливості роботи рятувальників в умовах, коли коефіцієнт токсичної небезпеки середовища більше загального коефіцієнта K_3 захисту, розглядалися, в основному, стосовно до засобів індивідуального захисту органів дихання. Так, в [15] пропонується найбільш простий підхід, коли особовий склад не починає процес ліквідації надзвичайної ситуації до тих пір, поки коефіцієнт токсичної небезпеки найгіршої речовини не зменшиться до рівня, за якого можна працювати в тих апаратах, що стоять на озброєнні в підрозділах. Це вимагає від газодимозахисників постійного контролю за допомогою відповідного газового аналізатору за середовищем. В результаті виконання бойової задачі може бути припинено ще до початку безпосередніх дій.

В [16] додатково враховується адитивна дія різноманітних небезпечних речовин і розглядаються питання вибору типу ізолюючих апаратів (ІА). Показано, що при легеневій вентиляції $\omega_{\text{л}}$ біля 30 л/хв. та дотриманні вимог Настанови з газодимозахисної служби [7] коефіцієнт захисту K_3 регенеративного дихального апарату дорівнює $3,33 \cdot 10^4$. Отриманий результат свідчить, що повітропровідна система має достатню ступінь герметичності для умов, які можуть виникнути при звичайній пожежі. Проте, у випадку надзвичайної ситуації під час ліквідації КРП коефіцієнт захисту буде майже на два порядки менше коефіцієнта токсичної небезпеки $K_{\text{то}} \approx 3,85 \cdot 10^5$. У зв'язку з цим використання регенеративних дихальних апаратів (РДА) не є можливим, не дивлячись на високі показники часу захисної дії та можливість багатократного включення-виключення апарату.

Для апаратів на стисненому повітрі (АСП) показано, що коефіцієнт захисту апарату, якщо легеневу вентиляцію прийняти [17] рівною близько 40 л/хв., буде $K_{31} \approx 4,87 \cdot 10^5$, але при цьому не враховувались підсоси навколишнього середовища через нещільне приєднання лицевої частини до обличчя газодимозахисника.

В оперативно-рятувальних підрозділах ще застосовують апарати на хімічно пов'язаному кисню (АХПК). Стосовно їх захисної ефективності в [8] відмічено, що вони (а саме ІІ-4) забезпечують коефіцієнт проникнення

$$K_{\text{п}} \leq 10^6 \quad \text{.Враховуючи те, що} \quad K_3 = \frac{1}{K_{\text{п}}} \geq 10^6 \quad ,$$

(5)

можна було б вважати, що їх можна використовувати при ліквідації всіх можливих надзвичайних ситуацій з викидами всіх можливих небезпечних речовин. Проте, аналіз лицевих частин (наведено далі під час викладення основного матеріалу) показав, що саме таку характеристику захисної ефективності має шолом-маска. Можна припустити, що питання проникнення навколишнього середовища безпосередньо через протигаз не розглядалися. Крім цього, перевірка кількісних показників захисної

ефективності, як це має місце для АСП та РДА під час проведення другої та третьої перевірок [7], для АХПК в експлуатаційній документації не передбачається.

Все це свідчить, що *наукова задача* з визначення кількісних характеристик автономних ізолюючих засобів індивідуального захисту, а також особливостей їх експлуатації, які забезпечать безпечну роботу рятувальників в найгірших умовах, що можуть бути в осередку викиду небезпечних хімічних речовин, у тому разі компонентів ракетного палива, є актуальною.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ КОМПЛЕКСУ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

3.1. Аналіз засобів індивідуального захисту шкіри, можливостей їх застосування під час ліквідації надзвичайних ситуацій

Під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт використовуються різноманітні засоби індивідуального захисту шкіри (ЗІЗШ). Вони застосовуються з тим, щоб не допустити враження кожних покровів людини небезпечними хімічними, радіоактивними або біологічними речовинами, захистити її від високих та низьких температур, відкритого полум'я, пилу, грязі та інших вражаючих та шкідливих виробничих факторів.

Конкретні вимоги до спеціального захисного одягу наведені в НПБ 162-2002 [18]. У якості однієї з найгірших речовин там розглядається газоподібний хлор, стосовно якого відмічається, що властивості матеріалу ЗІЗШ, які будуть використовуватись біля осередку надзвичайної ситуації, повинні забезпечити захист від газоподібного хлору з масовою концентрацією 70 мг/л на протязі 90 хвилин при температурі навколишнього середовища від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

Костюми всіх груп виконуються з герметичною блискавкою, хімічно стійкими чоботами з металевією вставкою, що збільшує їх стійкість. Захисні рукавички герметизуються додатковими гумовими джгутами на кільцях-манжетах рукавів. Так, в костюмах французької фірми «VIN» такі кільця-манжети зроблені з ущільнювачем, який забезпечує герметизацію, таким чином, щоб захисні рукавички при необхідності легко можна було зняти й вдягти самостійно. Інтегровані лицеві маски костюмів, як правило, аналогічні маскам дихальних апаратів, що герметично монтуються в костюмах. Проте слід відмітити і варіант маски з великим кутом огляду, запропонований, наприклад, фірмою «VIN».

Для підвищення захисних якостей повітря, яке видихає рятувальник, подається всередину костюму, створюючи там збитковий тиск. Це суттєво зменшує проникнення туди навколишнього повітря, у тому разі при

пошкодженні костюму. Проте, забудь-якого варіанту виконання ІК коефіцієнт захисту підкостюмного простору по локальній оцінці повинен [19] бути

$$K'_3(IK) \geq 5 \cdot 10^3. \quad (6)$$

В костюмі з відкритою лицевою частиною повітря, яке видихається, викидається до навколишнього середовища, а в середину костюму повітря потрапляє з дихального апарату, тобто відбувається додатковий його розхід.

Таким чином видно, що під час проведення робіт в осередках хімічного враження для забезпечення безпеки рятувальників використовують КЗІЗ, які включають до себе засоби індивідуального захисту шкіри (ЗІЗШ) та засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД).

Враховуючи те, що ІА, який захищає органи дихання, може знаходитись як всередині (і в цьому випадку токсична небезпека навколишнього середовища буде зменшуватись як захисними властивостями костюму, так і захисними властивостями ІА), так і ззовні ІК (в цьому випадку токсична небезпека для рятувальника визначається тим коефіцієнтом захисту костюму або апарату, який є меншим) загальний коефіцієнт захисту може розглядатись як

$$K_3 = \begin{cases} K_3(IA) & K_3(IK), \text{ якщо ізолюючий} \\ & \text{апарат знаходиться} \\ & \text{всередині костюму;} \\ \min(K_3(IA); K_3(IK)), & \text{якщо ізолюючий} \\ & \text{апарат знаходиться} \\ & \text{ззовні костюму,} \end{cases} \quad (7)$$

де $K_3(IA)$ - коефіцієнт захисту ізолюючого апарату;

$K_3(IK)$ - коефіцієнт захисту ізолюючого костюму.

Оскільки у відповідності до [20] захисні властивості матеріалу для ІК повинні забезпечувати захист від газоподібного хлору з масовою

концентрацією 70 мг/л, а гранично допустима концентрація хлору в робочій зоні [15] дорівнює $C_{ГДК}(\text{Cl}) = 1 \text{ мг/м}^3$,

$$K_3(\text{IK}) \geq \frac{C_m}{C_{ГДК}(\text{Cl})} = 7 \cdot 10^4. \quad (8)$$

Тобто, ізолюючий костюм забезпечує надійний захист в підкостюмному просторі при об'ємній концентрації хлору

$$V_{\%}(\text{Cl}) = \frac{22.4}{10} \frac{C_m(\text{Cl})}{M(\text{Cl})} = \frac{22.4}{10} \frac{70}{2 \cdot 35.4527} \approx 2.24\% \quad (9)$$

і при концентраціях хлору більше (9) не можна працювати в ІК, які передбачають розміщення ІА ззовні костюму.

В той же час, аналогічні розрахунки для аміаку ($C_{mГДК} = 20 \text{ мг/м}^3 = 0.2 \text{ мг/л}$) показують

$$\begin{aligned} V_{\%}(\text{NH}_3) &= \frac{22.4 \cdot K_3(\text{IK}) \cdot C_{mГДК}(\text{NH}_3)}{10 \cdot M(\text{NH}_3)} = \\ &= \frac{22.4 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot 0.2}{10 \cdot 17.03} > 100\% \end{aligned} \quad (10)$$

що свідчить про можливість розміщення ІА поверх ізолюючого костюму.

3.2. Тактико-технічні характеристики лицевих частин, їх недоліки та переваги, можливості застосування під час ліквідації надзвичайних ситуацій

На практиці в оперативно-рятувальних та інших спеціалізованих підрозділах у зборі з ЗІЗОД використовують п'ять основних видів лицевих частин: мундштуковий пристрій із загубником і носовим затискачем, напівмаска (іноді розглядають і чвертьмаску, але вона має коефіцієнт захисту ще менше, ніж у напівмаски), маска, шолом-маска і шолом.

Мундштуковий пристрій забезпечує надійну ізоляцію органів дихання, оскільки смуга обтюрації, яка ущільнює, має невеличку довжину та постійно змочена слюною, а щільність притискання губів до поверхні пластини загубника постійно контролюється газодимозахисником. За результатами дослідження фірми “Дрегерверк” підсоси під загубник не перевищують рівня

підсосів під обтюратор кращих дихальних масок. Тобто коефіцієнт захисту мундштукового пристрою оцінюється величиною $K_{32} \geq 10^4$. Саме мундштуковий пристрій має просту конструкцію, малу масу (до 0,2 кг), мінімальний мертвий простір (до 60 см³), дозволяє швидко включатись в апарат і виключатись з нього.

До головного недоліку мундштукового пристрою у разі використання в ситуації, що розглядається, відноситься відкритість обличчя. Враховуючи властивість, наприклад, окисів азоту створювати на відкритій поверхні шкіри людини азотної кислоти, використовувати цей тип лицевої частини під час ліквідації НС, пов'язаних з КРП, викидами більшості інших НХР, у тому разі аміаку й хлору [6]. не можна.

Напівмаска (як і чвертьмаска) має недостатню надійність ущільнення в зоні притискання до обличчя людини [1]. Внаслідок цього $K_{32} \ll 5 \cdot 10^3$ і, відповідно, її під час експлуатації ізолюючих ЗІЗОД (окрім тих випадків, коли є можливість створити надлишковий тиск чистого повітря в підмасочному просторі) не застосовують.

Дихальна маска герметизується з органами дихання шляхом притискання обтюратора до обличчя за лобно-щочно-підборідною лінією. Маска кріпиться на обличчі за допомогою гумового оголов'я. У нижній частині її корпуса розміщується штуцер, де знаходиться клапан видиху, якщо маска використовується в ЗІЗОД з відкритою схемою дихання; під час роботи з регенеративними дихальними апаратами штуцер щільно зачиняється заглушкою. Дихальні маски захищають також очі людини і забезпечують фізіологічно правильний тип дихання – через ніс. Щоб додатково обмежити підсос навколишнього повітря в систему ЗІЗОД, конструкція маски включає до себе підмасочник. Крім того, завдяки підмасочнику об'єм шкідливого простору зводиться до 180-220 см³. Панорамне небитке скло забезпечує досить високий огляд. У більшості сучасних масок обмеження поля зору складає всього 18-22%, а в деяких й ще менше – до 2-5% [4]. Майже всі конструкції мають мембрани, які практично не зменшують гучність і

розбірливість переговорів. Дослідження герметичності, які проводили як за кордоном [10], так і в Донецьку [1], показали, що коефіцієнт підсосу під правильно вдягнуту і добре підігнану маску не перевищує 10^{-4} . Останнім часом в деяких оперативно-рятувальних підрозділах використовують маски із збитковим тиском в підмасочному просторі. В [17] відмічається, що в цьому випадку коефіцієнт підсосу під маску не перевищує 10^{-7} .

Недоліками масок є досить велика маса (0,6-0,7 кг), складна конструкція, значний час на одягання та підгонку. Маска виключає обдув обличчя навколишнім повітрям. Для відпрацювання правильної підгонки маски та набуття навичок роботи в ній під час ліквідації надзвичайних ситуацій газодимозахисник повинен заздалегідь навчитись виконанню тренувальних вправ на чистому повітрі та в непридатному для дихання середовищі.

Шолом-маски закривають вуха і велику частину волосяного покриву голови і не мають оголів'я. Конструкція включає до себе два окремих круглих скла. Внаслідок того, що в шолом-масці відсутній підмасочник, шкідливий простір складає до 450 см^3 . У той же час, за герметичністю шолом-маска значно краще, ніж маска. Величина її коефіцієнта захисту дорівнює близько 10^6 .

Шолом має складну конструкцію, великий шкідливий простір, значну масу та громіздкість і тому, незважаючи на те, що має коефіцієнт захисту не менший, ніж 10^7 , в оперативно-рятувальних підрозділах не використовується.

Таким чином, можна вважати, що під час ліквідації найгіршої надзвичайної ситуації можна використовувати шолом-маски та маски із збитковим тиском в підмасочному просторі.

3.3. Оцінка герметичності комплексу засобів індивідуального захисту, призначеного для роботи в осередку надзвичайної ситуації з викидом небезпечних хімічних речовин

Таким чином, у разі застосування ІА поверх ІК коефіцієнт захисту $K_3(IA)$ в зборі з лицевою частиною повинен перевищувати (2), а також

коефіцієнт K_{TH} токсичної небезпеки середовища

$$K_3(IA) \geq 7 \cdot 10^4 \geq K_{TH} = \begin{cases} \frac{C_{m_i}}{\sum_i C_{ГДК_i}} & \text{якщо гази мають} \\ & \text{однонаправлену дію;} \\ \max_i \left\{ \frac{C_{m_i}}{C_{ГДК_i}} \right\} & \text{якщо гази не мають} \\ & \text{однонаправленої дії;} \end{cases} \quad (11)$$

де C_{m_i} - концентрація i -го шкідливого газу в навколишньому середовищі, мг/м³ (%);

$C_{ГДК_i}$ - гранично допустима концентрація i -го шкідливого газу в навколишньому середовищі, мг/м³ (%).

Загальний коефіцієнт захисту системи „апарат – органи подиху людини” розраховується [17] як

$$K_3(IA) = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}}, \quad (12)$$

де K_{31} - коефіцієнт захисту ізолюючого апарату;

K_{32} - коефіцієнт захисту лицевої частини.

При цьому коефіцієнти захисту лицевих частин K_{32} визначені в експлуатаційно-технічній та науковій літературі [1], а коефіцієнт захисту безпосередньо апарату можна розрахувати за показниками, які наведені в науковій [1,6] та нормативній документації [7]. Так, коефіцієнт захисту апарату може розглядатись [1] як

$$K_{31} = \frac{\omega_n}{\omega_{n1}}, \quad (13)$$

де ω_n - легенева вентиляція, л/хв.;

ω_{n1} - підсос всередину системи „апарат – органи подиху” через порушення цілісності повітроподаючої системи ізолюючого апарату, л/хв.

Показники легеневої вентиляції залежать від важкості роботи, яку виконує газодимозахисник, але для оціночних розрахунків рекомендується

[17] приймати $\omega_n \approx 40 \text{ л/хв.}$ при застосуванні АСП та [1] $\omega_n \approx 30 \text{ л/хв.}$ – при застосуванні РДА.

В [1] показано, що

$$\omega_{n1} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{вд}}}{P_{\text{пер}}}}}{m \cdot P_a}, \quad (14)$$

де $\Delta P / \Delta t$ - швидкість падіння розрідження під час перевірки герметичності, Па/хв.;

V_p - місткість повітроподаючої системи при розрідженні, л;

$P_{\text{вд}}$ - опір ЗІЗОД вдиху при відповідному навантаженні, Па;

$P_{\text{пер}}$ - розрідження у повітроподаючій системі при перевірці, Па;

$m = 0.16$ - коефіцієнт, який враховує, що повітропровідна система не є жорсткою;

P_a - атмосферний тиск, Па.

Відомо, що для РДА [1] обсяг повітроподаючої системи при розрідженні не повинен перевищувати 2,5 л, а для АСП [3] - при розрідженні не перебільшує мертвого простору апарату, тобто $V_p \leq 0,2 \text{ л}$. Крім того, в усіх апаратах клапан вдиху повинен [6] спрацьовувати при створенні розрідження не більше 300 Па.

Поряд з цим треба мати на увазі й те, що дещо відрізняються вимоги до швидкості падіння тиску під час перевірки герметичності, які наведені в технічній документації [1,4] виробника ($\Delta P / \Delta t \leq 50 \text{ Па/хв.}$), та в Настанові [7] з газодимозахисної служби ($\Delta P / \Delta t \leq 30 \text{ Па/хв.}$).

Таким чином, підсос (12) у повітропровідну систему РДА буде

$$\omega_{n1} = \begin{cases} 0,00166 \text{ л/хв.} & \text{при виконанні умов} \\ & \text{виробника,} \\ 0,001 \text{ л/хв.} & \text{при виконанні умов} \\ & \text{Настанови з ГДЗС.} \end{cases} \quad (15)$$

При легеневій вентиляції біля 30 л/хв. відповідний коефіцієнт захисту

$$\text{РДА буде } K_{31} \geq \frac{\omega_l}{\omega_{n1}} \approx \begin{cases} 1.8 \cdot 10^4 & \text{при виконанні умов} \\ & \text{виробника,} \\ 3 \cdot 10^4 & \text{при виконанні умов} \\ & \text{Настанови з ГДЗС.} \end{cases} \quad (16)$$

Отримані результати дозволяють оцінити загальний коефіцієнт захисту системи „апарат – лицева частина” у разі обладнання РДА шолом-маскою ($K_{32} \geq 10^6$)

$$K_3 (\text{ШМ}) = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} \geq \geq 2.9 \cdot 10^4 < K_3 (\text{ІК}) \geq 7 \cdot 10^4 \quad (17)$$

Видно, що під час роботи в регенеративному дихальному апараті в першу чергу необхідно орієнтуватись на його захисні властивості. В той же час, розрахунки аналогічні (12)÷(14) для АСП дають

$$\omega_{n1} = \begin{cases} 0,000133 \text{ л/хв.} & \text{при виконанні умов} \\ & \text{виробника,} \\ 0,00008 \text{ л/хв.} & \text{при виконанні умов} \\ & \text{Настанови з ГДЗС.} \end{cases} ; \quad (18)$$

$$K_{31} \geq \frac{\omega_l}{\omega_{n1}} \approx \begin{cases} 3 \cdot 10^5 & \text{при виконанні умов} \\ & \text{виробника,} \\ 5 \cdot 10^5 & \text{при виконанні умов} \\ & \text{Настанови з ГДЗС.} \end{cases} ; \quad (19)$$

$$K_3 (\text{ШМ}) \geq 2.3 \cdot 10^5 > 7 \cdot 10^4. \quad (20)$$

Це стосується і системи „апарат – лицева частина” у разі обладнання АСП маскою з підпором повітря в підмасочному просторі ($K_{32} \geq 10^7$), оскільки в цьому випадку загальний коефіцієнт захисту

$$K_3 (M_{\text{з.підпором}}) \geq 2.3 \cdot 10^5 > 7 \cdot 10^4. \quad (21)$$

Отже, видно, що при застосуванні АСП з шолом-масками (або масками з підпором повітря в підмасочний простір) поверх ІК, саме останні зумовлюють захисну ефективність КЗІЗ.

Проте, КЗІЗ першого типу згідно до [18] повинні забезпечити безпеку рятувальників під час ситуації (3), яка передбачає концентрацію хлору $C_{\text{max}}(Cl) = 3600 \text{ мг/л}$.

Оскільки у відповідності з (11) комбінацію ІК та ІА, коли останній знаходиться ззовні, використовувати не можна, визначимо вимоги до загального коефіцієнта захисту ІА, коли він знаходиться всередині ізолюючого костюму

$$\begin{aligned} K_3(IA) &\geq \frac{K_{TH}(100\% Cl_2)}{K'_3(IK)} = \\ &= \frac{3.6 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^3} \approx 7.2 \cdot 10^2 \ll 5 \cdot 10^4 \end{aligned} \quad (22)$$

Таким чином, перший рівень захисту забезпечує комбінація сертифікованого ІК та любого ІА, який знаходиться всередині захисного одягу.

4. ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ПАРАМЕТРІВ, ЩО НЕОБХІДНО КОНТРОЛЮВАТИ ПІД ЧАС ПЕРЕВІРКИ ГЕРМЕТИЧНОСТІ АПАРАТУ НА СТИСНЕНОМУ ПОВІТРІ

Вартість інтегрованих КЗІЗ (7÷9 тис. доларів), в яких ізолюючий апарат знаходиться всередині ізолюючого костюму, на порядок перебільшує вартість ізолюючих костюмів, що передбачають використання ізолюючих апаратів поверх захисного одягу [400÷1000 доларів]. В той же час, аналіз (19) показує, що $K_{TH}(100\%NO_2)$ не набагато більше $K_3(ШМ)$. Це дозволяє висунути гіпотезу щодо того, що за рахунок підвищення вимог до показників, які створюються під час виконання другої перевірки апарата на стисненому повітрі, можна, у разі їх дотримання, забезпечити відповідний захист рятувальників в осередку надзвичайної ситуації, яка пов'язана з КРП.

Враховуючи співвідношення між коефіцієнтами захисту та підсосу, що наведені в [1], для визначення параметрів, які необхідно створити і проконтролювати під час другої та третьої перевірок, спочатку визначимо, який коефіцієнт підсосу $K_{П1}$ має забезпечити безпосередньо сам АСП

$$\begin{aligned} K_{П1} &= K_{П} - K_{П2}(Ш - М) = \frac{1}{K_3} - \frac{1}{K_{32} \cdot (Ш - М)} = \\ &= \frac{1}{K_{TH} \cdot (100\% NO_2)} - \frac{1}{K_{32} \cdot (Ш - М)} \leq 1,6 \cdot 10^{-6}. \end{aligned} \quad (23)$$

Це дозволяє визначити можливий підсос у повітроподаючу систему АСП навколишнього повітря $\omega_{н1}$ за результатами перевірки апарата на герметичність з розрідження за наступною формулою

$$\omega_{н1} \leq K_{П1} \cdot \omega_l \approx 0,000064 \text{ л/хв}. \quad (24)$$

Якщо по аналогії з перевіркою герметичності РДА на високий тиск [7] прийняти $p_{пер} = 2000 \text{ Па}$, то з (5) можна визначити якою повинна бути

швидкість падіння розрідження під час перевірки герметичності

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} \leq \frac{\omega_{n1} \cdot m \cdot p_a}{0,4 \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{\text{вд}}}{p_{\text{нер}}}}} = \frac{40 \cdot 0,16 \cdot 100000}{0,4 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{300/2000}} = 33,05 \text{ Па/хв.} \quad (25)$$

Таким чином, щоб забезпечити безпеку газодимозахисників у разі використання ними апаратів на стисненому повітрі, які обладнані шолоmmasки, під час ліквідації в епіцентрі вибуху КРП необхідно підвищити вимогливість до параметрів, що контролюються в ході виконання другої та третьої перевірок АСП [7].

А саме, під час перевірки герметичності апарату створити перевірочне розрідження $p_{\text{нер}} = 2000 \text{ Па}$, після стабілізації якого швидкість падіння розрідження $\Delta P / \Delta t$ не повинна перевищувати 3 мм водяного стовпчика за хвилину.

Забезпечення герметичності АСП з шолом-маскою за рахунок підвищення вимогливості до показників, які контролюються, дозволило висунути гіпотезу, що таким же чином можна забезпечити достатню герметичність регенеративних дихальних апаратів. При цьому лицеві частини у вигляді масок з підпором повітря в підмасочний простір розглядати недоцільно, оскільки заводи-виробники як в Україні, так і за кордоном не передбачають комплектування ними регенеративних дихальних апаратів

Проте, виконані розрахунки показують, що це в практичній діяльності оперативно-рятувальних підрозділів на базах та постах ГДЗС забезпечити достатню герметичність РДА не представляється можливим.

Так, якщо прийняти $p_{\text{нер}} = 2000 \text{ Па}$, то швидкість падіння розрідження

$$\text{повинна бути } \frac{\Delta p}{\Delta t} \leq \frac{\omega_{n1} \cdot m \cdot p_a}{0,4 \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{\text{вд}}}{p_{\text{нер}}}}} = \frac{30 \cdot 0,16 \cdot 100000}{0,4 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{300/2000}} = 1,98 \text{ Па/хв.} \quad (26)$$

тобто менше 0,2 мм водяного стовпа за хвилину. Такий параметр без спеціального метрологічного обладнання зафіксувати не можна.

З іншого боку, якщо уявити, що можна проконтролювати швидкість падіння розрідження 10 Па/хв. (1 мм водяного стовпа реометра-манометра за хвилину), то можна розрахувати показник $p_{пер}$ розрідження у повітропровідній системі при другій перевірці. З (13) та (23), враховуючи те, що $V_p(РДА) \leq 2,5 л$, $m = 0,16$ та $p_{вд} \leq 300 Па$, видно, що

$$p_{пер} \geq 28610 Па = 2861 мм вод. ст. = 2,861 м. \quad (27)$$

Створити розрідження в повітропровідній системі РДА, яке відповідає (26), не тільки на постах, але й на базах ГДЗС не уявляється можливим.

Відповідні розрахунки показують, що аналогічна ситуація має місце і для апаратів на хімічно пов'язаному кисню.

Таким чином, для РДА та АХПК перевірити можливість їх застосування в найгірших умовах НС з викидами НХР, є експериментально наближена перевірка апаратів за показниками захисної ефективності в камері газоокурення. Для цього газодимозахисник, який включений в апарат, в герметичній камері (з визначеною концентрацією шкідливої речовини) виконує вправи, що імітують реальну роботу. Необхідна концентрація цієї речовини визначається [1] за формулою:

$$C_k = C_{пор} \cdot K_3 = C_{пор} \cdot 3,85 \cdot 10^5, \quad (28)$$

де $C_{пор}$ – порогова концентрація контрольної речовини, за якої людина починає відчувати її запах, мг/м³.

Видно, якщо у якості контрольної речовини використовувати, наприклад, аміак ($C_{пор}=0,5$ мг/м³), то $C_k = 1,925 \cdot 10^5$ мг/м³, а якщо хлорпікрин ($C_{пор}=0,6$ мг/м³), то $C_k = 2,31 \cdot 10^5$ мг/м³. Порогові концентрації цих речовин нешкідливі для організму людини, але легко розпізнаються за запахом та дратуючою дією. Якщо в таких умовах газодимозахисник не відчуває наявності контрольної шкідливої речовини у вдихуваному повітрі, можна вважати, що коефіцієнт захисту апарату, що перевіряється, разом з лицевою частиною не нижче допустимого.

Проте, в [8] експериментально визначено, що навіть у випадку обладнання КЗІЗ 2-го типу маскою з підпором повітря його не можна використовувати в осередку НС з викидами НХР, які є більш токсичними ніж окиси азоту, а час ліквідації НС безпосередньо залежить від варіанту КЗІЗ.

Таким чином, для скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт без зниження рівня безпеки рятувальників необхідно знати дійсний рівень небезпеки в осередку надзвичайної ситуації.

ВИСНОВКИ

Запропоновано вираз для загального коефіцієнта захисту КЗІЗ першого типу, використання якого забезпечує аналіз засобів захисту рятувальників, які працюють в умовах впливу НХР, а також показано, що комбінація сертифікованого ІК та любого ІА, який знаходиться всередині захисного одягу, забезпечує безпеку рятувальників в найгірших можливих умовах.

Показано, що для скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт без зниження рівня безпеки рятувальників необхідно знати дійсний рівень небезпеки в осередку надзвичайної ситуації.

Показано, що при знаходженні ізолюючого апарату поверх захисного костюму апарати на стисненому повітрі можуть забезпечити таку ізоляцію системи "апарат - органи дихання рятувальника", за якої в них можна працювати під час ліквідації надзвичайних ситуацій з викидами компонентів ракетного палива. Але при цьому необхідно мати на увазі наступне: апарат повинен бути оздобленим шолом-маскою або маскою з підпором повітря в підмасочний простір.

У разі використання поверх ізолюючих костюмів АСП, які обладнані шолом-масками, під час виконання другої перевірки апарату при створенні розрідження 2000 Па швидкість падіння розрідження на протязі першої хвилини після стабілізації не повинна перебільшувати 30 Па/хв. Якщо АСП застосовується у зборі з маскою, в якій створюється збитковий тиск в підмасочному просторі, друга перевірка виконується згідно з Настановою з ГДЗС.

Необхідно модернізувати пристрої для перевірки герметичності ізолюючих апаратів. В першу чергу доопрацювати АЕРОТЕСТ[19], оскільки на цей час він не дозволяє проводити перевірку апаратів, які обладнані масками та масками з підпором повітря в підмасочному просторі.

Передбачити один раз на рік перевірку системи "ізолюючий апарат – органи дихання газодимозахисника" в камері газоокурювання. При цьому в останній необхідно створити наступну концентрацію контрольної речовини

для особового складу, який буде першим залучатись до ліквідації надзвичайних ситуацій з викидами небезпечних хімічних речовин:

- для роботи з компонентами ракетного палива та аміаку: $C_k = 1,925 \cdot 10^5$ мг/м³ (якщо у якості контрольної речовини використовувати аміак) або $C_k = 2,31 \cdot 10^5$ мг/м³ (якщо – хлорпікрін);

- для роботи в осередку з викидом хлору: $C_k = 0,35 \cdot 10^5$ мг/м³ (якщо у якості контрольної речовини використовувати аміак) або $C_k = 0,42 \cdot 10^5$ мг/м³ (якщо – хлорпікрін).

Підняти вимогливість до якості виконання другої перевірки та контролю герметичності системи "апарат – лицева частина", оскільки із переходом до застосування централізованого обслуговування апаратів перевірки АСП у зборі з закріпленою лицевою частиною реально не виконуються.

ЛІТЕРАТУРА

1. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ. – М.: Недра, 1984. – 296 с.
2. Перепечаев В.Д., Береза В.Ю. Газодымозащитная служба пожарной охраны. / Учебник. – Чернигов, РИК «Деснянська правда», 2000. – 468 с.
3. Основи створення та експлуатації апаратів на стисненому повітрі: Навчальний посібник./ П.А. Ковальов, В.М. Стрілець, О.В. Єлізаров, О.Є. Безуглов. – Харків: АЦЗУ, 2005. – 314 с.
4. Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты. – М.: Минздрав СССР, 1981. – 64 с.
5. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования: учебное пособие / С.В. Гудков, С.И. Дворецкий, С.Б. Путин, В.П. Таров. – М.: Машиностроение, 2008. – 118 с.
6. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В.А., Лукьянченков А.Г., Павлов К.Н. и др.]; под ред. В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
7. Стрілець В.М. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Основи створення та експлуатації – Харків, АПБУ, 2001. – 117 с.
8. Рекомендації щодо захисту особового складу підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків аварій за наявності небезпечних хімічних речовин (аміак, хлор, азотна, сірчана, соляна та фосфорна кислоти): Наказ N 733 МНС України від 13.10.2008. – Офіц. вид. – Київ: МНС України, 2008. – 88 с.
9. Standard on Vapor-Protective Ensembles for Hazardous Materials Emergencies: NFPA 1991: 2005 Edition – Режим доступу: <http://www.normas.com/NFPA/PAGES/NFPA-1991.html>
10. Standard on Vapor-Protective Ensembles for Hazardous Materials Emergencies: NFPA 1991: 2005 Edition – Режим доступу: <http://www.normas.com/NFPA/PAGES/NFPA-1991.html>

11. Liquid chemicals for limited life/use (liquid-tight) Type 3 equipment: prEN 1511 – Режим доступа: <http://www.outsource-safety.co.uk/freehelp/49-british-standards.html>
12. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В.А., Лукьянченков А.Г., Павлов К.Н. и др.]; под ред. В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
13. Каминский С.Л. Средства индивидуальной защиты / Каминский С.Л. – Ленинград, Химия, 1989. – 347 с.
14. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования: ГОСТ Р 22.9.05-95. – Режим доступа: <http://www.gr-obor.narod.ru/document.htm>
15. Стрілець В.М. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Основи створення та експлуатації – Харків, АПБУ, 2001. – 117 с.
16. Настанова по газодимозахисній службі пожежної охорони МВС України. Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. – Київ, 1994. – 128 с.
17. Техническое описание ИЭ ИП-4.
18. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования: ГОСТ Р 22.9.05-95. – Режим доступа: <http://www.gr-obor.narod.ru/document.htm>
19. Специальная защитная одежда пожарных изолирующего типа. Общие технические требования. Методы испытаний: НПБ 162-97. – Режим доступа: <http://bestpravo.ru/fed2002/data01/tex10163.htm>
20. Прибор контрольный «Аэротест». Руководство по эксплуатации. – Луганск: ОАО Завод горноспасательной техники «Горизонт», 2001. – 24 с.